中蒙俄经济走廊交通及管线建设的生态风险区划及对策研究

董锁成[1,2] 李懿珈[1,2] 李富佳[1*] 厉静文[1,2] 李 宇[1,2] 李泽红[1,2] 程昊[1,2] 李国玉[2,3] 李生宇[2,4]

1 中国科学院地理科学与资源研究所 北京 100101
2 中国科学院大学 资源与环境学院 北京 100049
3 中国科学院西北生态环境资源研究院 冻土工程国家重点实验室 兰州 730000
4 中国科学院新疆生态与地理研究所 乌鲁木齐 830011

摘要 中蒙俄经济走廊沿线跨境铁路、公路和油气管道是支撑其区域合作发展的关键枢纽和通道。科学评估中蒙俄经济走廊交通建设的生态风险时空格局，提出防控对策，对中蒙俄经济走廊跨境交通工程的顺利建设与安全运营至关重要。文章通过构建生态风险评价模型，划分了高、中、低3类生态风险区，并在此基础上提出了中蒙俄经济走廊生态风险防控对策。结果显示：中蒙俄经济走廊生态风险沿“两带、一线”分布；中蒙俄跨境交通带是沙漠化高风险区，中俄跨境交通带和中俄原油管道沿线是多年冻土高风险区。文章提出生态风险防控对策，即积极倡导生态文明理念，实施“两高三低”型发展模式；建设绿色经济走廊，优化产业结构，积极建立4层循环经济体系，发展绿色循环产业；创新工程技术和生物技术；建立国际间合作体制机制，构建中蒙俄生态风险监测网络体系。文章将为中蒙俄经济走廊交通及管线的合理建设，以及生态风险的科学规避与防控提供科技支撑和决策依据，从而促进该区域的绿色可持续发展。

关键词 中蒙俄经济走廊，交通管线，生态风险，对策

DOI 10.16418/j.issn.1000-3045.20210125001

中蒙俄经济走廊是“一带一路”六大经济走廊中首个被批准落地建设的经济走廊[1,2]，是连接欧亚大陆的重要国际通道和中国向北开放的战略区域。它在巩固和加强中、蒙、俄三国的睦邻友好合作关系，营造平等互信、互利共赢的地区环境，以及构建地缘政治新优势等方面发挥着重要作用[3,4]。

*通讯作者

资助项目：中国科学院战略性先导科技专项（A类）（XDA20030203），国家社会科学基金“一带一路”专项基金（17VDL016），“一带一路”国际科学组织联盟资助（ANSO-CR-KP-2020-02），科学技术部基础资源调查专项（2017FY101304），国家自然科学基金面上项目（42071282）
修改稿收到日期：2020年1月29日

跨境铁路、公路和油气管道是支撑中蒙俄经济走廊合作发展的关键枢纽和通道，能有效地带动和促进沿线国家内、外部物质、能量、信息的循环和交换，加速了贸易往来和区域经济增长[5-8]。然而，中蒙俄经济走廊横跨多个气候区，生态环境脆弱敏感[9,10]，沿线广阔的沙漠和冻土给跨境交通的顺利建设带来巨大挑战[11,12]。同时，工程施工等人类活动会降低环境的稳定性[13,14]，以至交通建设面临冻土季节性冻胀、融沉威胁，从而造成冻土对工程影响的风险上升。

已有研究主要解决了中蒙俄经济走廊荒漠化的识别[13]、局地风险评价[15,16]、单一建设项目的风险规避[17]等问题，但鲜有研究综合评估其生态风险格局并依据风险等级科学防控生态风险，而这对中蒙俄经济走廊跨境交通及管线高效、可持续性建设意义重大。因此，本文基于中蒙俄经济走廊交通建设的客观现实需求，通过构建生态风险评价模型，揭示了中蒙俄经济走廊交通及管线沿线区域的主要生态风险与影响因子，从而综合评定不同等级生态风险区的危害程度和影响范围；并结合生态风险等级，提出针对性策略。研究结果将为中蒙俄经济走廊交通及管线的合理建设，以及生态风险的科学规避与防控提供科技支撑和决策依据。

1 研究区概况

中蒙俄经济走廊位于亚洲北部和东北部，地理范围约为56°E—141.5°E、37.3°N—62°N[2]。区域总面积约$9.2×10^6$ km^2，包含中国东北部和北部的4个省份、蒙古国东南部12个省，以及俄罗斯东西伯利亚、远东南部的7个边疆区。本文的研究区域为走廊内“两带、一线”及其周边区域；其中，“两带”为中蒙俄跨境交通带——二连浩特—乌兰巴托—乌兰乌德铁路公路干线（1 230 km）、中俄跨境交通带——满洲里—赤塔铁路公路干线两侧（420 km）；“一线”为中俄原油管道沿线——斯科沃罗季诺—漠河—大庆（970 km）。

研究区包括蒙古高原、东北平原、东西伯利亚高原、远东山地等，总体地形相对平坦，山脉较少，最低海拔40 m，最高海拔4 390 m。区内生态格局复杂多样，包含高山冰川、高山裸地、山地森林、草甸草原、典型草地、荒漠草地、裸地、沙地、沙漠等多种生态系统。全区气候多变，大风强劲；除中国东北部为温带季风气候，大部分区域属温带大陆性气候，冬季严寒，夏季温热，具有明显的季节差异；降水量整体较少，地区差异较大，年降水量为50—1 000 mm，其中东南多，蒙古高原腹地最少，且降水多集中在每年7—8月[11]；年蒸发量是年降水量的10倍至数十倍，其中蒙古高原戈壁蒸发最强。在特殊的气候和地形影响下，区内存在土壤沙化、沙尘暴肆虐等生态环境问题：中国东北平原、俄罗斯远东地区夏季降水集中，冬春两季冻融作用显著，极易诱发水土流失、土地退化；蒙古高原南部戈壁广布，蒸发强烈，沙尘暴频发；蒙古国北部、俄罗斯东西伯利亚地区属中高纬度地区，年均气温低于0°C，在低温潮湿环境下，区域内大面积冻土周期性冻结、融化。

研究区内经济发展地域差异明显，经济密度总体上呈现出南高北低的格局，而中国、俄罗斯的经济总量远高于蒙古国。三国跨境贸易往来日趋密切，贸易额逐年加速增长，2018年的中俄贸易总额超过1 000亿美元。区内产业地域分异明显：中国北方种植业相对发达；养殖业在蒙古国经济地位突出，畜牧业产值占其农业经济总产值的84%；俄罗斯区域内林业生产最具优势，其木材蓄积量占俄罗斯的68.82%。蒙古国工业以轻工、食品、采矿和燃料动力工业为主，但仍处于初级发展阶段；其畜牧业、工矿业及城镇和苏木居民点等在铁路、公路沿线集中分布，对铁路、公路沿线地区生态环境的压力不断增大。俄罗斯加工业主要分布在西伯利亚铁路沿线，发展水平呈西高东低。

2 研究方法

本文在综合风险源、风险因子、社会经济因子的基础上，构建区域生态风险识别指标体系，并结合中蒙俄经济走廊沿线地区典型生态风险点、线、带、面的空间分布，构建中蒙俄经济走廊生态风险模糊评价模型，识别研究区生态风险。

2.1 数据来源

研究数据主要包括气温、降水、地形、土地覆盖、土壤、冻土、植被指数等 7 类自然要素，以及人口、经济 2 类社会要素。其中，气温、降水数据来自世界气候数据库①；地形数据来自美国国家航空航天局（NASA）Shuttle Radar Topographic Mission（SRTM）②，以及基于此数据计算得到的地形衍生数据，包括坡向和坡度 2 个因子；土地覆盖数据来自欧洲航天局气候变化倡议（CCI）项目③，研究中将原来的 37 个土地覆盖类别重新分类为 6 个土地类别——农田、森林、草地、城市、水体和裸地；土壤数据选用黑河计划数据管理中心，寒区、旱区科学数据中心所提供的基于世界土壤数据库（HWSD）的土壤数据集（v1.1）④，包括土壤有效含水量和土壤质地；多年冻土数据来源于国家冰川冻土沙漠科学数据中心⑤，包括冻土范围和含冰量；归一化植被指数（NDVI）数据来自最新的 GIMMS NDVI 3g V1.0 数据集⑥；人口密度数据数据来自 LandScan 全球人口数据⑦；经济数据来自世界银行统计数据库⑧。

2.2 数据处理

基于多源遥感影像数据与统计资料所获取的中蒙俄经济走廊生态环境演变的相关自然要素、社会经济数据等多源异构信息数据，构建中蒙俄经济走廊生态风险多元综合评价指标体系（表 1）。其中，干旱指数参考 McKee[18]的方法，即拟合长期降水数据的概率分布预测不同尺度干旱程度。所有数据均投影至统一坐标系下，并重采样到同一空间分辨率。

表 1　中蒙俄经济走廊生态风险指标及权重

Table 1　Ecological risk index and weight in China-Mongolia-Russia Economic Corridor

一级指标	权重	二级指标	权重
温度	0.12	年平均气温	0.19
		气温年较差	0.30
		气温日较差	0.51
降水	0.11	干旱指数	1.00
地形	0.13	海拔	0.44
		坡向	0.25
		坡度	0.31
多年冻土	0.17	冻土范围	0.54
		含冰量	0.46
土地覆盖	0.11	土地覆盖类型	1.00
土壤	0.07	土壤有效含水量	0.67
		土壤质地	0.33
植被	0.09	归一化植被指数	1.00
人口	0.13	人口密度	1.00
经济	0.07	国内生产总值	1.00

注：权重值在0—1，一级指标总权重值为1，每个一级指标对应的二级指标总权重值为1

Note: The weight value is 0–1, the total weight value of the first-level index is 1, and the total weight value of the second-level index corresponding to each first-level index is 1

① http://www.worldclim.org.
② http://srtm.csi.cgiar.org.
③ http://www.esa-landcover-cci.org.
④ http://westdc.westgis.ac.cn.
⑤ https://www.satpalda.com/product/landscan.
⑥ https://ecocast.arc.nasa.gov/data/pub/gimms.
⑦ https://www.satpalda.com/product/landscan.
⑧ https://databank.worldbank.org.

2.3 生态风险评价模型

本文依据生态系统的脆弱敏感程度逐层分解、组织评价数据，构建中蒙俄经济走廊生态环境风险多元模糊评价模型，采用模糊层次分析法结合专家评判方法加以合理确定。① 参照层次分析法建立指标对比矩阵，根据专家建议修改对比矩阵，并通过一致性检验；② 计算指标权重，对表 1 所示的 15 种指标因子采用无量纲化与趋同化方式进行处理，并采用层次分析法确定各类指标的权重；③ 利用模糊数学隶属函数建立评价矩阵；④ 通过评价矩阵与指标权重的向量线性相乘获得评估结果，研究区生态风险指数利用加权求和的方法。

$$E=\sum_{i=1}^{n}E_i w_i 。 \qquad (1)$$

式（1）中：E 为生态风险指数，W_i 为第 i 评价指标权重，n 为系统评估指标个数，E_i 为第 i 指标的隶属度 [19]。根据中蒙俄经济走廊沿线地区典型生态风险点、线、带、面的空间分布，将研究区生态风险划定为高风险、中风险、低风险 3 个等级。

3 生态风险空间分布格局

3.1 高风险地区

中蒙俄经济走廊高风险区沿“两带、一线”分布；其中，中蒙俄跨境交通带沙漠化风险高，中俄跨境交通带和中俄原油管道沿线冻土风险高。

（1）冻土高风险区。① 中俄跨境交通带沿线：中国内蒙古自治区呼伦贝尔市南部，中俄跨境地区，以及中国内蒙古自治区博尔贾—外贝加尔斯克—满洲里—呼伦贝尔—牙克石。② 中俄原油管道沿线：中国黑龙江省和内蒙古自治区——塔河—加格达奇段，以及中国内蒙古自治区和黑龙江省——加格达奇—大庆段。多年冻土高风险区，年平均气温约 −5℃—0℃，年降水量 400—800 mm，属于半湿润地区；在低温潮湿环境下，该区域内大面积为多年冻土，受季节变化的影响，呈周期性冻结、融化。多年冻土高风险区内大量零星多年冻土和稀疏岛状多年冻土分布，多年冻土不均匀沉陷、稳定性差，冻融危害严重影响道路管道建设。此外，多年冻土高风险区极易引发突发性地质灾害，威胁到已建工程建筑的安全，对道路工程危害尤其严重，伴随融雪活动，在一些地区会形成比较密集的冻融泥石流、滑坡、崩塌、水土流失等灾害。

（2）沙漠化高风险区。主要沿中蒙俄跨境交通带分布：俄罗斯布里亚特共和国的乌兰乌德到蒙古国的苏赫巴托—达尔汗—乌兰巴托—宗莫德—曼达尔戈壁。沙漠化高风险区内人类活动频繁，随着工业化、城镇化的发展，人口集聚增长，农业用地占用大量林地和草地。蒙古国牲畜私有化，过度放牧导致沙漠化风险增加。区域内经济发展缺乏统一规划，城镇、工业、畜牧业发展呈现出向铁路、管道交通干线聚集的特征，导致交通干线生态环境脆弱，林草面积减少，土地大面积沙化。例如，在乌兰巴托等城市周边，城市规模急剧扩张，建设用地增大，挤占生态用地，加剧了沙漠化进程。此外，该区域内人口分布不均衡——乌兰巴托占蒙古国总人口的一半以上，城镇体系呈现出极端首位型分布特征。

3.2 中风险地区

（1）冻土中风险区。主要分布在俄罗斯贝加尔湖沿岸、外贝加尔边疆区的东南部，以及中国内蒙古呼伦贝尔中部—黑龙江省的西北部。黑龙江省多年冻土区主要分布在大小兴安岭地区[20]，是中国冻土分布的第二大地区，也是中国高纬度多年冻土区分布的主要地区之一。

（2）沙漠化中风险区。气候干旱少雨，土地类型以裸地和草地为主。主要分布在蒙古国戈壁苏木贝尔省南部—东戈壁省，以及中国二连浩特以东部和南部地区。蒙古国杭爱山以南，年降水量在 150 mm 以下，而靠近中蒙边界地区，年降水量仅 100 mm 左右，为干旱和极干旱的气候。该区域戈壁、沙漠地区的面积广，生态环境脆弱，自然灾害频繁，是沙尘暴的高发

地区，也是是中国沙尘暴的源头之一。

3.3 低风险地区

（1）冻土低风险区。包括：① 俄罗斯外贝加尔边疆区西部、北部地区，阿穆尔州西北部。这些地区分布大面积连续多年冻土，多年冻土层稳定，风险低。② 中国黑龙江省东部和南部地区，以及内蒙古自治区呼和浩特、乌兰察布、锡林浩特、呼伦贝尔沿线地区。这些地区为非冻土区，无冻土风险。

（2）沙漠化低风险区。中国实施一系列生态修复工程，生态环境趋于良好，沙漠化风险降低。研究区中国境内大部分地区年降水量200—400 mm，属于半干旱区，植被以林地、草地和稀疏植被为主，沙漠化风险较低。此外，面对严重的土地退化，自2000年以来，中国政府启动了一系列生态环境计划，包括“天然林保护计划”“退耕还林还草”和“京津风沙源治理工程”，旨在恢复森林和草地并减轻人类对生态系统的活动压力。中国内蒙古的呼和浩特、乌兰察布和锡林郭勒是生态修复工程的重点治理地区。该区域内森林、草地面积增长明显，植被NDVI显著增加，稀疏植被、裸地面积降低，生态环境趋于良好，表明中国生态修复工程取得了显著成效，沙漠化风险降低。

4 生态风险防控对策

研究区本底生态环境脆弱，沙漠化风险和冻土风险水平高。随着全球气温的升高，多年冻土区逐渐消融、荒漠面积增加，经济社会发展对资源环境开发利用需求增加，石油和天然气工业的迅猛发展，从而导致大面积的原始冻土被破坏、土地退化。控制中蒙俄经济走廊生态风险，防止冻土和沙漠化危害，对于中蒙俄交通及管线建设来说至关重要。

4.1 倡导生态文明理念

在中蒙俄经济走廊沿线区域积极倡导生态文明理念，即应用绿色技术，探索低投入、高产出、高效益、低消耗、低污染的“两高三低”型发展模式，共建生态文明和绿色发展合作示范区；强调以保护生态空间为前提，以良好的生态环境为支撑，以生态经济为动力，以生态文化为灵魂，以生态制度为保障，实现人与自然和谐和可持续发展。

4.2 建设绿色经济走廊

优化产业结构，积极发展绿色循环产业，促进经济绿色转型，实现低碳、循环和可持续发展，从而减轻经济活动对生态环境压力，消除沙漠化和冻土灾害的人类活动影响，实现区域可持续发展的战略路径。积极建立4层循环经济体系，即“企业循环、产业循环、区域循环、社会循环”，建设绿色经济走廊。

中蒙俄经济走廊产业发展和技术水平相对滞后，产业结构不合理，整体上第一、第二产业比重高，资源依赖度强，对生态环境造成巨大压力。蒙古国经济以畜牧业、矿业为主；俄罗斯军工产业、智力密集型产业优势突出，轻工业、农业发展不足；中国东北和内蒙古地区第二产业占比较高。中蒙俄经济走廊建设不能重蹈发达国家“先污染，后治理”的老路，必须全面确立和推广绿色循环产业。

根据资源环境承载力确定人口规模，“以草定牧，以水定人”。严格禁止森林滥砍滥伐、开荒、过度放牧、大规模采矿等人类活动。控制区域人口增长，避免人口过度集中，将人口迁移至低风险地区。合理利用水资源，节约用水，因地制宜地采用先进的灌溉技术，以减少农业用水。研究区内推行禁牧、休牧、划区轮牧制度限制放牧活动，调整牧业结构和牲畜放牧方式，以提高出栏率；采用季节性牧场，合理控制牲畜数量，避免过度放牧。优化土地利用格局，调整不同土地利用类型的比例，合理开发；控制农业用地和建设用地面积，提高土地利用效率。

4.3 创新工程技术

优化跨境工程地质选线，在工程建设中，避开冻土高风险区。防治季节性冻土对公路工程造成的危害，通过增大路基和地基的边界热阻，以及减少暖季

的热量来保护冻土。目前，中国科学院战略性先导科技专项（A类）“中蒙俄经济走廊交通及管线建设的生态环境问题与对策研究”课题成果中提出：① 在“俄罗斯赤塔中俄跨境铁路”示范应用“遮阳板+碎石”复合护坡降温技术；② 采取主动冷却方式，优化路基传热效率，增大路基在冷季的散热量，包括块石护坡结构、通风管和热管；③ 采用“通风管+冷垫”防控技术，能够提供线性、面性温控效果，实用性强，有效解决污染环境多发的突出问题，该技术已申报了发明专利。

采用机械工程措施进行沙漠化治理，包括沙障固沙和机械阻沙，具有收效快和低耗水的优势，且多数工程都持久耐用[21]。在固沙初期通过设置机械沙障来改变下垫面性质，机械沙障多采用麦草秸秆等，可以增加地表粗糙度，减小风沙速度，控制风沙流动方向，从而改变风蚀沙积情况；还可以截留沙层水分，有利于固沙植物存活，从而达到快速固定沙丘的目的。

4.4 实施生物措施

生物固沙措施是在流动沙丘上以活的灌木、草本代替柴草、黏土、砾石等非生命材料建立的阻沙措施。通过人工建设加快生态恢复，选择抗旱固沙的造林树种，营造生物沙障，进行植被的恢复与重建。生物固沙措施主要包括飞播固沙技术、封沙育草技术、防风阻沙技术、防护林（网）的营造技术等。生物沙障不但能起到机械阻沙、有效控制沙丘流动的作用，而且能通过自身发育形成群落，从而加速沙丘植被的恢复与重建，达到防风固沙、改良土壤、改善环境的效果；此外，还能实现生产燃料、饲料、食物和药材的目的[22]。

4.5 建立国际合作体制机制

（1）搭建政府间生态风险防控国际合作平台。推进中、蒙、俄三国政府间高层对话，充分利用“一带一路”倡议、中蒙俄经济走廊、上海合作组织、欧亚经济论坛、亚太经济合作组织、亚洲相互协作与信任措施会议等合作机制，强化中、蒙、俄三国生态风险防控国际交流，扩大与联合国防灾减灾署、联合国防治荒漠化公约组织等相关国际组织和机构的合作；可在现有中俄生态理事会基础上，成立“中蒙俄经济走廊生态风险防控国际联盟”，建立中、蒙、俄三国生态环境部长定期会晤机制，构建由政府主导，企业、智库专家、社会组织和公众参与的多边或双边生态风险防控国际合作平台。

（2）中、蒙、俄三国共建生态风险监测网络和生态风险防控国际科学实验室，联合攻关重大生态风险防控技术难题。充分利用三国现有生态监测点，提升生态监测点装备信息化水平，在中国生态系统研究网络（CERN）基础上，积极推进三国毗邻地区生态监测站点信息互联互通，构建中、蒙、俄三国生态风险监测网络体系。在“一带一路”国际科学组织联盟和“一带一路”国际科学家联盟框架下，在中、蒙、俄三国跨境地区联合建立一批沙漠化、冻土、生物多样性、气象、病虫害等监测站和实验室，重点支持沙漠化防治、冻土灾害治理等领域重大核心技术研发攻关。目前，中国科学院战略性先导科技专项（A类）“中蒙俄经济走廊交通及管线建设的生态环境问题与对策研究”课题成果中已建3个示范站点，分别为俄罗斯古西诺生态修复与灾害防治野外站、蒙古国乔伊尔市公路沙漠化灾害防控试验示范区和固定野外站、蒙古国科学院地理与地球生态研究所达尔汗公路沙漠化灾害防控试验站。

（3）建立生态风险信息交换与共享服务机制，强化跨境地区重点突发生态灾害通报、沟通和联防联治。中、蒙、俄三国合作建设“中蒙俄经济走廊生态大数据服务平台”，加强生态风险信息共享，提升生态风险评估与防范的咨询服务能力，推动生态风险信息产品、技术和服务合作。建立跨境地区暴雨洪水、病虫害、跨界河流水污染等重点突发生态灾害的及时通报、及时沟通和全面联防联治机制，防控灾害“源”跨境传输，将跨境灾损降到最低程度。

参考文献

1 董锁成, 杨洋, 李富佳, 等. 中蒙俄高铁建设的影响机理及对策. 地理学报, 2019, 74(2): 297-311.

2 董锁成. 中国北方及其毗邻地区综合经济社会科学考察报告. 北京: 科学出版社, 2017.

3 Irina G, Irina Z. The Silk Road Economic Belt and green growth in the east of Russia. Journal of Resources and Ecology, 2016, 7(5): 342-351.

4 郑伟. "一带一路"倡议下构建中蒙俄经济走廊的路径选择. 北京工商大学学报（社会科学版）, 2016, 31(5): 31-38.

5 董锁成, 程昊, 郭鹏, 等. "一带一路"交通运输业格局及对策. 中国科学院院刊, 2016, 31(6): 663-670.

6 Kohl T. The Belt and Road Initiative's effect on supply-chain trade: Evidence from structural gravity equations. Cambridge Journal of Regions, Economy and Society, 2019, 12(1): 77-104.

7 许娇, 陈坤铭, 杨书菲, 等. "一带一路"交通基础设施建设的国际经贸效应. 亚太经济, 2016, (3): 3-11.

8 王娟娟. 新通道贯通"一带一路"与国内国际双循环——基于产业链视角. 中国流通经济, 2020, 34(10): 3-16.

9 Li G, Wang J L, Wang Y J, et al. Spatial and temporal variations in grassland production from 2006 to 2015 in Mongolia along the China–Mongolia railway. Sustainability, 2019, 11(7): 21-77.

10 Zhao M Y, Dong S C, Xia B, et al. Development patterns and cooperation paths of tourism industry within the China–Mongolia–Russia Economic Corridor. IOP Conference, 2018, 190: 012067.

11 Wei H S, Wang J L, Han B M. Desertification information extraction along the China–Mongolia railway supported by multisource feature space and geographical zoning modeling. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 2020, 13: 392-402.

12 Guo Y, Zhang C, Han Q L, et al. Seminar on "Engineering and environmental geology in the permafrost region along the Sino-Russian-Mongolian Economic Corridor under the background of climate change" and the Annual Academic Conference of 2018 of ICL-CRLN and the Cold Region Landslide Research of IPL-WCoE held in Harbin. Landslides, 2019, 16(4): 857-861.

13 范泽孟, 李赛博. 中蒙俄经济走廊荒漠化时空格局变化及其驱动因子. 生态学报, 2020, 40(13): 4252-4263.

14 王语懿. 中蒙俄经济走廊建设面临的生态环境问题和绿色开发合作. 东北亚学刊, 2019, (3): 69-79.

15 李娟, 侯晓欢. 黑龙江省应对"中蒙俄经济走廊"建设的风险防控对策分析. 知与行, 2016, (4): 107-113.

16 Li Z H, Ren Y, Li J N, et al. Land-use/cover change and driving mechanism on the west bank of Lake Baikal from 2005 to 2015—A case study of Irkutsk City. Sustainability, 2018, 10(8): 2904.

17 Dong S C, Yang Y, Li F J, et al. An evaluation of the economic, social, and ecological risks of China-Mongolia-Russia high-speed railway construction and policy suggestions. Journal of Geographical Sciences, 2018, 28(7): 900-918.

18 McKee T B. Drought monitoring with multiple time scales// Proceedings of 9th Conference on Applied Climatology. Dallas: Amer Meteorol Soc, 1995: 233-236.

19 吴春生, 黄翀, 刘高焕, 等. 基于模糊层次分析法的黄河三角洲生态脆弱性评价. 生态学报, 2018, 38(13): 4584-4595.

20 李珺瑶, 张冬有, 王吉祥. 黑龙江省多年冻土区植被NDVI时空变化及其与地温的响应. 安徽农业科学, 2020, 48(14): 72-77.

21 杨超, 李钢铁, 刘艳琦. 我国土地沙漠化治理产业化研究综述. 内蒙古林业调查设计, 2019, 42(6): 20-23.

22 苗仁辉, 郭美霞, 刘银占. 不同生物沙障对科尔沁流动沙丘植被恢复及土壤湿度的影响. 生态环境学报, 2018, 27(11): 1987-1992.

Regionalization of Ecological Risk of China-Mongolia-Russia Economic Corridor Transportation and Pipeline Construction and Policy Suggestions

DONG Suocheng[1,2] LI Yijia[1,2] LI Fujia[1*] LI Jingwen[1,2] LI Yu[1,2] LI Zehong[1,2] CHENG Hao[1,2] LI Guoyu[2,3] LI Shengyu[2,4]

（1 Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

2 College of Resources and Environment, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3 State Key Laboratory of Frozen Soil Engineering, Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China;

4 Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China）

Abstract The cross-border railways and oil and gas pipelines along the China-Mongolia-Russia Economic Corridor are key hubs and channels supporting the regional cooperation and development. It is very important to complete scientific regionalization of ecological risk of China-Mongolia-Russia Economic Corridor and put forward suggestions to guarantee smooth construction and safe cross-border traffic project. By establishing ecological risk evaluation model, we quantitatively analyzed the ecological risk of China-Mongolia-Russia Economic Corridor, and regionalized high, middle, and low risk. We put forward the ecological risk prevention and control countermeasures for China-Mongolia-Russia Economic Corridor. It shows that the ecological risk areas are distributed along the “two belts and one line”. The risk of desertification is along the China-Mongolia-Russia cross-border traffic belt, the risk of permafrost is along the China-Russia cross-border traffic belt and the China-Russian crude oil pipeline. The proposed suggestions are designated to prevent and control ecological risk from the perspectives of promoting ecological civilization to realize a “two-highs and three-lows” mode; constructing of a green economic corridor, optimizing the industrial structure, actively establishing a four-tier circular economy system, and developing green circular industries; innovating technical biological engineering; establishing system and mechanism of an international cooperation and monitoring ecological risk network system along China-Mongolia-Russia Economic Corridor. We provide scientific technic support for rationally building cross-border railways and pipelines, avoiding and preventing ecological risks in China-Mongolia-Russia Economic Corridor. It will be decision-making basis to promote regional green and sustainable development.

Keywords China-Mongolia-Russia Economic Corridor, transportation and pipeline, ecological risk, policy suggestions



董锁成 中国科学院地理科学与资源所二级研究员、经济与能矿资源研究室主任，中国科学院大学首席教授，俄罗斯自然科学院外籍院士。中国科学院区域生态经济研究与规划中心主任。国家科技基础性工作专项重点项目首席科学家，“一带一路”国际科学家联盟常务副主席兼秘书长，东北亚可持续发展研究中心主任。主持和参与完成科学技术部国家科技基础专项、国家自然科学基金重点项目、中国科学院、相关部委和地方课题及国际合作项目百余项。发表主要论著350余篇（部），获国家“五个一”工程奖和中国科学院杰出成就奖等14项奖励。E-mail: dongsc@igsnrr.ac.cn

DONG Suocheng Leading Professor of Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences (CAS), Chief Professor of University of Chinese Academy of Sciences. Foreign Academician of Russian Academy of Natural

*Corresponding author

Sciences. Director of Resource Economy and Energy & Mineral Resources Department, Director of Regional Eco-economic Research and Planning Center, Deputy Director of Tourism Research, Planning and Design Center. Leading Scientist of Key Project of the National Scientific and Technological Basic Research. Executive Vice Chairmen and Secretary General of International Scientists Union for the Belt and Road, Director of Northeast Asian Sustainable Development Research Center. He has presided and completed more than 100 research projects of National Scientific and Technological Basic Research, National Natural Science Foundation of China, CAS, key research programs of the ministries and local governments. He has published over 350 academic papers and books, and achieved more than 14 awards including National Five-One Engineering Award, Outstanding Achievement Award of CAS, et al.
E-mail: dongsc@igsnrr.ac.cn



李富佳 　中国科学院地理科学与资源所副研究员。中国自然资源学会理事兼世界资源研究分会副主任、秘书长，中国生态经济学会区域生态经济专业委员会常务理事，“一带一路”国际科学家联盟副秘书长，东北亚可持续发展研究中心副秘书长兼办公室主任。主要从事资源经济与资源战略、生态经济、区域可持续发展研究等。主持或参与完成科学技术部国家科技基础专项、国家自然科学基金重点项目和面上项目、中国科学院、相关部委和地方课题及国际合作项目30余项。在*Environment Science & Technology*、*Journal of Cleaner Production*、*Ecological Modelling*、*Energy Policy*、《地理学报》和《地理研究》等核心学术期刊发布学术论文40余篇。E-mail: lifujia2003@163.com

LI Fujia 　Associate Professor of Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences (CAS). Deputy Director & Secretary General of World Resources Research Branch, China Society of Natural Resources. Executive Member of Regional Ecological Economics Committee, China Ecological Economics Society. Vice Secretary General of International Scientists Union for the Belt and Road, Vice Secretary General and Office Head of Northeast Asian Sustainable Development Research Center. His research focuses on resource economics & resource policy, ecological economics and regional sustainable development. He has presided and completed more than 30 research projects of National Scientific and Technological Basic Research, National Natural Science Foundation of China, international cooperation, key research programs of the ministries and local governments. He has published over 40 academic papers on domestic and overseas core journals, such as *Environment Science & Technology*, *Journal of Cleaner Production*, *Ecological Modelling*, *Energy Policy*, *Journal of Geographical Sciences*, *Geographical Research*, and so on.
E-mail: lifujia2003@163.com

■责任编辑：武一男